

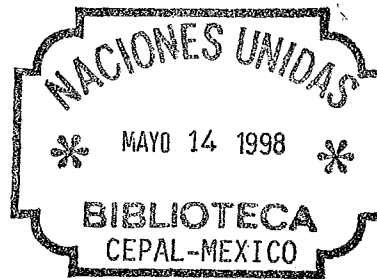
Distr.
RESTRINGIDA

LC/MEX/R.643
16 de marzo de 1998

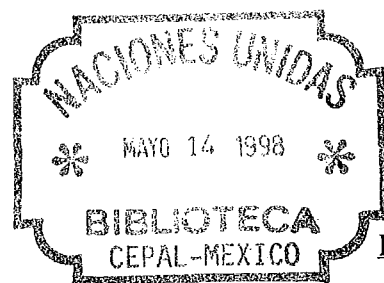
ORIGINAL: ESPAÑOL

CEPAL

Comisión Económica para América Latina y el Caribe



**ANALISIS COSTO-EFECTIVIDAD EN LA MITIGACION
DE DAÑOS DE DESASTRES NATURALES SOBRE
LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL**



INTRODUCCION	1
1. El efecto de los desastres naturales sobre la infraestructura social	3
2. Magnitud de las inversiones en medidas de mitigación	4
3. Criterios para la formulación de proyectos de mitigación	6
4. El análisis costo-beneficio en inversiones orientadas a mitigación	7
5. Costo-efectividad frente a costo-beneficio	8
6. Aplicación del modelo de costo-efectividad	11
7. Importancia de los análisis de vulnerabilidad para la aplicación de modelos de costo-efectividad	15
8. Etapas para la aplicación del análisis costo-efectividad en proyectos de mitigación	18
9. Rubros a considerar en un proyecto de mitigación y criterios de valuación	20
 <u>Anexos:</u>	
I Modelo aplicable en la formulación de proyectos de infraestructura social para la mitigación de desastres naturales	23
II Medidas de mitigación recomendadas	25
III Un estudio de caso: El puente de Tolten en Chile	27

INTRODUCCION

Los desastres naturales ocasionan elevados perjuicios a los países del mundo entero, sobre todo en aquellos que cuentan con recursos materiales y tecnológicos limitados para enfrentarlos. Entre los efectos de dichos fenómenos, los daños causados a la infraestructura social han sido particularmente severos. Precisamente, mantener operando dicha infraestructura durante y después de un desastre constituye un elemento crucial para salvaguardar la vida y la salud de los damnificados.

Si bien algunos riesgos pueden mitigarse, en la mayoría de las catástrofes naturales es imposible predecir su ocurrencia, aunque sí es posible elevar la protección contra la amenaza de un fenómeno al modificar o eliminar sus causas (disminuyendo el riesgo), o aminorar sus efectos (reduciendo la vulnerabilidad de los elementos afectados).

Los huracanes que se descargaron sobre el Caribe en los últimos 10 años destruyeron o dañaron instalaciones que ya habían sido perjudicadas en el pasado por fenómenos similares. Las consecuencias sociales y económicas de estos daños han sido evaluadas y discutidas en diversos estudios. Sin embargo, a pesar de la creciente sensibilización de los gobiernos y sectores interesados, son todavía insuficientes las acciones de mitigación de desastres emprendidas para incrementar la seguridad de la infraestructura social.

La carencia de elementos de reforzamiento y protección preventiva puede determinar que un solo evento natural haga desaparecer o inhabilite la infraestructura social disponible en una determinada área geográfica. Por ello, al planear las inversiones en infraestructura social o de las obras de mitigación, los gobiernos necesitan conocer el grado de vulnerabilidad de esas instalaciones frente a desastres naturales.

Los estudios realizados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) muestran que, en el caso de la infraestructura de salud, los costos de las reestructuraciones son relativamente bajos en comparación con las inversiones que se busca proteger. La medida de la rentabilidad de esta inversión se obtiene comparado este costo con el monto de las pérdidas económicas y humanas que ocasionaría un desastre en caso de no llevarla a cabo.

Las acciones emprendidas en la región de América Latina y el Caribe en materia de mitigación son aún limitadas, lo que dificulta la obtención de parámetros que permitan establecer relaciones suficientemente válidas entre el costo de las obras de reforzamiento y los beneficios esperados en términos de disminuir la vulnerabilidad de la infraestructura física ante desastres naturales.

Además, no todos los beneficios o costos relacionados con los preparativos, mitigación y respuesta ante un desastre son cuantificables, razón por la cual aplicar sólo criterios de **costo-beneficio** para decidir la conveniencia de realizar proyectos de mitigación puede arrojar resultados que dejen fuera la responsabilidad que compete a los gobiernos para proporcionar suficiente seguridad en la infraestructura social.

Debido a lo anterior, cada vez se acepta más la idea de incorporar elementos del análisis de **costo-efectividad** en la evaluación de proyectos de inversión en esta área, que combinen valoraciones cuantitativas con ponderadores sobre la relevancia de la preservación de vidas humanas y de bienes y servicios que dichos proyectos tenderían a garantizar.

El presente documento, elaborado por iniciativa de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco del Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, se propone aportar elementos conceptuales para contribuir a la aplicación de modelos de costo-efectividad en proyectos de mitigación destinados a hacer menos vulnerable la infraestructura social frente a desastres naturales, tomando en cuenta sus costos en relación con los beneficios económicos y sociales que traerían aparejados. Se basa en la literatura existente sobre la materia y en algunas experiencias concretas llevadas a cabo en diversos países de la región.

1. El efecto de los desastres naturales sobre la infraestructura social

La elección del tema surge de la preocupación por el impacto a que ha sido sometida la infraestructura social latinoamericana en los últimos tres lustros a consecuencia de desastres naturales, y por el correspondiente rezago que ha generado en la atención que debe prestarse a la población, sobre todo a la de menores recursos.

Los efectos de terremotos en la infraestructura social han sido, en efecto, de gran magnitud; baste recordar los acontecidos en la ciudad de México en 1985 y en San Salvador en 1986.

En el caso de México, el sismo generó cerca de 33,000 damnificados que debieron refugiarse temporalmente en casas de campaña o edificaciones provisionales instaladas en parques y avenidas, antes de contar con nuevas viviendas. Quizás en términos de emergencia, la más crítica fue el daño a los centros de salud, que llegaron a perder una cuarta parte de su capacidad en el área metropolitana. El número de camas censables perdidas sumó 4,400, en tanto que la estimación de los daños materiales directos del sector de salud fue cercana a los 550 millones de dólares.¹ En el sector educativo se resintieron daños de diversa magnitud en 1,300 escuelas, casi la mitad del total, de las cuales 31 quedaron derrumbadas y 102 con daños severos.

En El Salvador, particularmente en la capital,² quedaron destruidas 23,000 viviendas, en tanto que otras 30,000 sufrieron fisuras y daños menores, y otras 9,000 quedaron en peligro de derrumbes o deslizamientos. Del total, 60% correspondieron a viviendas unifamiliares y otro 20% a viviendas de carácter precario. Las pérdidas directas en vivienda se estimaron en 232 millones de dólares y los costos indirectos por reubicación sumaron otros 42 millones de dólares. El sector salud quedó afectado en un 90%, sumando 2,000 camas censables inhabilitadas temporalmente. Los daños directos a este sector llegaron a 91 millones de dólares, en tanto que los indirectos alcanzaron a 6 millones de dólares. El sector educación sufrió daños directos estimados en 61 millones de dólares, e indirectos por 5 millones de dólares. Por su parte, el sector de agua y alcantarillado debió enfrentar costos directos por 20 millones de dólares e indirectos para rehabilitación de instalaciones por otros 11 millones de dólares.

Los huracanes, sobre todo en la región del Caribe, han mostrado una influencia devastadora sobre la infraestructura social. En 1988 el huracán Gilberto dañó en Jamaica 24 de los 26 hospitales públicos existentes;³ y el huracán Joan, en Nicaragua, causó daños directos en hospitales

¹ Véase CEPAL, *Daños causados por el movimiento telúrico en México y sus repercusiones sobre la economía del país* (LC/G.1367), 15 de octubre de 1985; y OPS, *Crónicas de Desastres No. 3. Terremoto en México*, s/f.

² Véase CEPAL, *El terremoto de 1986 en San Salvador: Daños, repercusiones y ayuda requerida. Perfiles de proyectos* (LC/MEX/L.39/Add.1/Rev.1), 1986.

³ Véase Organización Panamericana de la Salud (OPS), *Hacia un mundo más seguro frente a los desastres naturales. La trayectoria de América Latina y el Caribe*, 1994.

y centros de salud equivalentes a 14 millones de dólares, y daños indirectos por 30 millones de dólares.⁴

De forma más reciente, en el Caribe se destacan los casos de las Islas Anguila y Sint Maarten ante el huracán Luis, en septiembre de 1995;⁵ en el primer caso, los daños al conjunto de los sectores productivos se estimaron en 55 millones de dólares, equivalentes al 94% del producto interno bruto del país. En el caso de Sint Maarten, el perjuicio totalizó 1,070 millones de dólares, equivalentes a más de dos veces el producto nacional del año previo al desastre. En ambos casos, los daños estimados a la infraestructura social oscilaron entre 15 y 22% del deterioro total de las economías.

Estos y otros ejemplos dan cuenta de la vulnerabilidad prevaleciente en amplias zonas de la región que poseen una alta propensión a la ocurrencia de desastres naturales. La magnitud de estos efectos destructivos hace necesario la adopción urgente de estrategias de mitigación nacionales y regionales que conduzcan a la realización de proyectos con alto sentido de efectividad en la protección de vidas humanas.

Se han dado ya los primeros pasos en esta dirección. En la presente década algunos países de la región empezaron a diseñar políticas concretas sobre esta materia, principalmente en el sector de la salud, además de proceder a la conformación de equipos multidisciplinarios de profesionales expertos en la materia.

2. Magnitud de las inversiones en medidas de mitigación

Un recuento documental de lo ocurrido en la presente década revela que es aún perceptible la escasez de estudios que permitan cuantificar el costo de las inversiones necesarias para llevar a cabo proyectos de mitigación en materia de infraestructura social. Tampoco se dispone de cifras sobre un número suficiente de casos para establecer con precisión parámetros que relacionen los costos adicionales de aplicar a un hospital nuevo o en uso medidas que eleven su resistencia frente a desastres naturales, con los beneficios que aportaría a la población estos mayores desembolsos.

Las cifras que se ofrecen en esta sección, por provenir del estudio de un número limitado de casos, poseen sólo carácter ilustrativo.

Se estima *grosso modo* que en el sector salud una inversión en mitigación con la que se aumente la resistencia estructural de un hospital, cuya construcción se proyecta realizar, puede elevar los costos totales de la obra totalmente equipada entre 1 y 2%. Por otra parte, según

⁴ Véase CEPAL, *Daños ocasionados por el huracán Joan en Nicaragua: sus efectos sobre el desarrollo económico y las condiciones de vida, y requerimientos para la rehabilitación y reconstrucción* (LC/MEX/L.94).

⁵ Véase CEPAL, *The macro-economic effects and reconstruction requirements following hurricane Luis in the island of Anguilla* (LC/MEX/L.289), y *The macro-economic effects and reconstruction requirements following hurricane Luis and Marilyn in Sint Maarten, Netherlands Antilles* (LC/MEX/L.290).

cálculos de la Agencia Federal de los Estados Unidos para el Manejo de Emergencias (FEMA),⁶ utilizados por varios investigadores, "el incremento promedio del costo de las instalaciones de salud... debería ser menos del 1.5% del costo de construcción del edificio, el cual, por supuesto, es sólo una parte del costo total del proyecto". El costo de proteger un hospital contra vientos huracanados generalmente es menor que el de protegerlo contra terremotos.

En la literatura sobre mitigación se hace referencia, por otra parte, a que la diferencia en los costos entre una edificación construida con elevadas especificaciones contra amenazas naturales como la sísmica, en comparación con una similar que no considere los mencionados estándares de resistencia, puede oscilar entre 1 y 4% del costo total de la edificación.⁷ En otros estudios, estos costos se sitúan entre el 1 y el 2% del costo de edificación.

El análisis de los casos estudiados sobre el período 1979-1993 en América Latina y el Caribe revela que el costo de las reestructuraciones llevadas a cabo, teniendo en cuenta la necesidad de reducir los efectos de posibles fenómenos naturales futuros, oscilan entre 4 y 8% del valor de un hospital ya construido. Los trabajos de reforzamiento de estructuras, según las experiencias referidas, han llegado a representar un desembolso total que fluctúa entre 8 y 15% del costo de la parte estructural de una obra ya construida.⁸

Se estima que el precio de los elementos no estructurales (instalaciones eléctricas, guarniciones, o materiales de laboratorio) puede llegar a representar entre 75 y 85% de los costos de edificación de un hospital. Su desprendimiento o colisión ante eventos naturales puede significar una gran pérdida para todo hospital, por lo que la instrumentación de medidas de diseño preventivo y de seguridad ahorran gastos significativos de rehabilitación.

El rubro de equipamiento es sumamente diverso, ya que abarca el equipo de laboratorio, los quirófanos, además de aparatos más o menos sofisticados de análisis clínicos. Por consiguiente, su valoración estará sujeta a las condiciones particulares del hospital de que se trate y de su disponibilidad presupuestaria.

Considerando el grado de vulnerabilidad de un hospital, podría concluirse que es más conveniente realizar esta erogación que contratar un seguro contra riesgo, o asumir los costos de reposición; lo anterior, sin considerar las pérdidas humanas y sociales.

La Organización Panamericana de la Salud inició en 1990 un programa para estimular el incremento de la resistencia a los desastres de las instalaciones de salud nuevas y existentes. Como parte de esta iniciativa ha desarrollado normas y proyectos-piloto, ha apoyado análisis de vulnerabilidad en hospitales de Chile, Colombia, Ecuador, Santa Lucía y Venezuela, y ha cooperado en los esquemas de reconstrucción de hospitales en México.

⁶ FEMA, *Seismic Considerations-Health Care Facilities*, No. 150.

⁷ Véase OPS, *Mitigación de desastres en las instalaciones de salud*.

⁸ Según experiencias en México del Hospital Juárez y en Costa Rica del Hospital Nacional de Niños y Hospital Monseñor Sanabria (las dos últimas reportadas por Miguel F. Cruz a la OPS)

El Banco Mundial promueve, asimismo, la aplicación de medidas de mitigación. En un estudio realizado por dicha institución ⁹ se concluye que para los países en desarrollo no sólo es más efectivo prevenir los desastres que recuperarse de ellos, sino que si el desarrollo sustentable es una meta, resulta imperativo que las consideraciones sobre mitigación sean incorporadas a los programas y planes de desarrollo.

3. Criterios para la formulación de proyectos de mitigación

La literatura tradicional de proyectos reconoce dos grandes rubros: los orientados a la producción de bienes (agrícolas, forestales, industriales, marinos, mineros, y pesqueros) y los orientados a servicios. En este último apartado se contemplan los proyectos de infraestructura física (aeropuertos, carreteras, comunicaciones, defensa, electrificación, etc.) y los destinados a la infraestructura social (agua potable y alcantarillado, educación, salud y vivienda).

Dada la relevancia de estos últimos en la prestación de servicios básicos a la población, y su clara influencia en la prevención de pérdidas de vidas humanas, el presente documento circunscribe su análisis a estos proyectos y en particular los enfocados a la realización de obras de mitigación.

Por otro lado, el monto de los proyectos de infraestructura social para prevención o mitigación de desastres naturales excede, regularmente, las disponibilidades de recursos financieros que los organismos públicos y privados nacionales están dispuestos a asignar a ellos, por lo que es muy importante adoptar los criterios que permitan darles una adecuada prioridad.

El análisis de todo proyecto de inversión relaciona su costo por unidad de producto generado con la eficacia con que responde a los objetivos planteados. Su rentabilidad económica se compara con la que se obtendría mediante proyectos alternativos de inversión.

Es difícil, sin embargo, encontrar elementos de comparación entre un proyecto que pueda hacer compatible la tasa interna de retorno de las inversiones entre diversos proyectos de infraestructura social. Frente a esta restricción se propone, para la formulación de proyectos de mitigación frente a desastres naturales, el desarrollo de un esquema de contenido mínimo que justifique su adopción y facilite, por ende, la obtención de los recursos de financiamiento necesarios (véase el anexo 1). El esquema sugerido define rubros genéricos y procede de experiencias en la realización de obras de infraestructura social que pueden hacerse extensivas a obras de reforzamiento o reconstrucción.

Entre los proyectos en el área social, se estima que prácticamente sólo en los relativos a vivienda y agua y saneamiento puede perseguirse la recuperación financiera de las inversiones. En cambio, en los relativos a los sectores educación y salud se presentan problemas para estimar la tasa de retorno. Por esta razón es que se usa cada vez con mayor frecuencia indicadores de costo-efectividad (C-E) para evaluar su conveniencia.

⁹ Banco Mundial, *Analyzing the Costs and Benefits of Natural Disaster Responses in the Context of the Development*, Environment, Working Paper N° 29, mayo de 1990.

4. El análisis costo-beneficio en inversiones orientadas a mitigación

Pese a lo anterior, la literatura tradicional de Evaluación de Proyectos de Inversión recomienda la aplicación del análisis costo-beneficio (C-B) no sólo a los proyectos de sectores productivos sino también a los de infraestructura social. Con este instrumento se contrasta el conjunto de beneficios o rendimientos que harían elegible una inversión con los costos en que se incurre para realizarla.¹⁰

En un proyecto tradicional, una inversión es rentable si el valor actual del flujo de ingresos (beneficios) es superior al valor actual del flujo de costos. Cuando la razón B/C resulta mayor que la unidad, o si el valor actual de la diferencia entre beneficios y costos es positiva, entonces la decisión de inversión es recomendable. Ahora bien, puede suceder que dos alternativas de inversión cumplan (sobre la misma base de años de inversión) con los requisitos de que la razón B/C sea superior a la unidad, y que el valor actual sea positivo. El problema que se enfrenta a menudo por esta dualidad de opciones es que el criterio de C-B pueda ser correcto para la decisión de emprender un proyecto, pero no para la decisión de elegir entre proyectos alternativos.¹¹

Si se deseara aplicar este enfoque a la evaluación a un proyecto de mitigación sería necesario en el momento de concebir el proyecto contar con información básica sobre las amenazas del fenómeno del que se trate y la probabilidad de su ocurrencia.¹² Existen, además, problemas de información y metodológicos para la aplicación del análisis C-B¹³ en este tipo de proyectos. No todos los beneficios o costos relacionados con el proyecto de mitigación pueden expresarse en términos monetarios.

Esta dificultad se afronta particularmente al tratar de expresar en términos financieros los beneficios sociales, políticos e incluso psicológicos, que las obras de mitigación hospitalaria podrían aportar en materia de preservación de la vida humana y de la salud.

¹⁰ Para la realización de un proyecto es necesario precisar varios elementos conceptuales, entre los que se cuentan los siguientes: el *universo* del proyecto, es decir, el conjunto de personas u organizaciones receptores de los servicios planeados; las *unidades de análisis* u objeto de la evaluación, que es la primera elección decisiva para llevar a cabo la *hipótesis*, la cual es una afirmación conjetural referente a la realidad que el proyecto pretende modificar y explica cómo es que dichas transformaciones se van a producir; el *plan de análisis* mediante el cual se sintetiza la cantidad y tipo de información requerida y la clase de análisis a aplicarse; el *contexto social*, que puede ser macro (régimen político, actitudes frente al proyecto, influencia de grupos de interés, etc.) y micro, que se refiere al ambiente en que se realiza la evaluación; los *instrumentos de información*, por ejemplo, encuestas; las *formas y pasos del procesamiento* de la información (codificación, análisis de consistencia de las variables), y las *técnicas de análisis*, que se refieren a la sensibilidad de las variables utilizadas frente a cambios de grado.

¹¹ Véase Fontaine, E. R., *Principios generales para la evaluación de proyectos*, FONEP, NAFINSA, México, 1981.

¹² Véase Dedeurwaerdere, Ann, *Cost-benefit analysis for natural disaster management. A case-study in the Phillipines*, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Université Catholique de Louvain, Working Paper 144, Bruselas, septiembre de 1997.

¹³ Véase Anderson, Mary B., *Analyzing the costs and benefits of natural disaster responses in the context of development*, Banco Mundial, mayo de 1990.

Otro problema reside en que en el plano metodológico hay restricciones para descontar los costos y beneficios futuros, sobre las pérdidas potenciales que el proyecto busca mitigar. Por último, la estimación del riesgo frente a desastres naturales solamente puede obtenerse a través de métodos probabilísticos que están sujetos a diversos grados de imprecisión.

De otra parte, estudios realizados en materia de desastres ¹⁴ identifican otras limitaciones del análisis C-B:

a) Los datos de daños regularmente incluyen los correspondientes a efectos directos ocasionados y omiten los indirectos, secundarios e intangibles, lo cual afecta la estimación adecuada del total de beneficios (daños evitados) que acarreará un proyecto de mitigación.

b) El modelo C-B no toma en consideración probables cambios socioeconómicos, crecimiento de la población, modificaciones ambientales y similares, que pueden llegar a tener mayor influencia en la ocurrencia probable de nuevos desastres naturales en el área analizada.

Se corrobora, pues, que la evaluación C-B en materia de proyectos sociales es compleja y discutible, pero lo es más aun cuando se intenta aplicarla a proyectos de reestructuración con fines de mitigación. Por una parte, se trata de obras tendientes a ampliar y preservar los recursos para atención de la población, lo que introduce una dimensión cualitativa que se contrapone a un intento de medición monetaria; por la otra, por tratarse de proyectos o programas sociales, en la evaluación C-B metodológicamente se ha avanzado mucho menos que si se tratara de proyectos económicos.

Como se expresó antes, en virtud de restricciones presupuestarias, es común que los proyectos de infraestructura social para la mitigación de desastres compitan con otros programas de impacto social. Así, un proyecto de instalar clínicas de salud en zonas de mayor propensión a riesgo por desastres naturales puede anteponerse a otros proyectos como los de educación, vivienda o agua potable, cuya importancia relativa es también significativa. En este caso, el análisis C-B sólo distingue entre las razones y las proporciones más aceptables desde el punto de vista financiero, pero no puede ayudar a la orientación de la mejor decisión de inversión en materia social.

De lo expresado hasta aquí podría concluirse que si bien el análisis C-B aporta elementos útiles a la discusión, no puede por sí mismo concluir el debate en torno a la aplicación de un programa concreto de mitigación.

5. Costo-efectividad frente a costo-beneficio

En el diseño de proyectos de mitigación es importante partir de la cuantificación de la vulnerabilidad, que se expresa como un porcentaje de pérdida para un determinado nivel de amenaza. ¹⁵ Así, se dice que la vulnerabilidad por daños a edificaciones será la proporción de éstos

¹⁴ Véase Dedeurwaerdere, *Ann, Cost-benefit analysis...*, *op. cit.*

¹⁵ Véase PNUD Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre (UNDRO), *Vulnerabilidad y evaluación de riesgo*, Programa de entrenamiento para el manejo de desastres, Naciones Unidas, 1991.

respecto del total de edificaciones existentes en una localidad; la vulnerabilidad de la población humana se expresará en el porcentaje de pérdidas de vidas y de heridos con relación al total de la población del área considerada.

El paso siguiente consiste en la estimación de costos de la infraestructura en riesgo, o la magnitud de pérdidas potenciales y el grado de afectación a la población, lo cual permitirá generar indicadores de C-E para las medidas de mitigación. Estas cuantificaciones son válidas tanto para los proyectos orientados al reforzamiento, como para los de construcción o reubicación de instalaciones.

Estos parámetros que prefiguran las bases de evaluación de C-E contrastan con los que normalmente se aplican al análisis de C-B. Según este último, la determinación de costos y beneficios de un proyecto parte de la estimación financiera; a valor actual, de los beneficios de un proyecto, deducidos los costos, para obtener el valor de la inversión neta, o en su caso el cociente de beneficios a costos del proyecto. Los valores son deflactados mediante la tasa de descuento social prevaleciente para inversiones en infraestructura.

En virtud de las consideraciones anteriores, podría darse el caso de que los resultados de la evaluación de un mismo proyecto fueran negativos en la evaluación C-B (el proyecto da pérdidas) y positivos en la evaluación social (el proyecto incrementa el bienestar de la comunidad).¹⁶

Usualmente, la probabilidad de ocurrencia de un evento conduce a la determinación de las "pérdidas económicas potenciales". Mediante este concepto se revelan los daños evitables, o los beneficios tangibles de un proyecto de mitigación. Dicha estimación requiere de:¹⁷

- a) El análisis histórico de los riesgos naturales, a fin de determinar su probabilidad de ocurrencia.
- b) La historia de daños en términos de pérdidas económicas atribuibles al fenómeno de que se trate, con el propósito de llegar al valor probable estimado de daños.
- c) La valuación de la situación actual de las áreas bajo estudio, para determinar el porcentaje de vulnerabilidad o propensión al riesgo.
- d) Una estimación de las instalaciones existentes por sectores productivos, con objeto de establecer las pérdidas económicas.

La probabilidad de ocurrencia de nuevos desastres, a partir de series de probabilidad condicional como guía para la valuación de probabilidad estimada, conduce a la estimación de la posible magnitud de daños en el área de estudio.

Otra restricción teórica, cuando se trata de un proyecto de mitigación, estriba en la dificultad para estimar el valor de ciertos beneficios derivados de la reducción de pérdidas

¹⁶ Cohen, Ernesto y Rolando Franco, *Evaluación de Proyectos Sociales*, Siglo XXI Editores, México, 1992.

¹⁷ Véase Dedeurwaerdere, Ann, *Cost-benefit analisis...*, op cit.

potenciales desde la perspectiva material y humana. Vale recordar que los reportes de impacto económico y social de los desastres verificados durante los últimos 15 años en la región latinoamericana ¹⁸ contienen indicadores de pérdidas de vidas humanas, heridos, trastornos por obstrucción temporal y rezago en la realización de tareas cotidianas de la población, a la par de los llamados efectos secundarios o desajustes macroeconómicos no ponderables de manera inmediata.

La sola estimación de la valuación de vidas humanas, a partir, por ejemplo, de indicadores manejados por instituciones de seguros de vida, que ponderan la vida productiva de las personas, además de ser discutible en sí, es un método de difícil aplicabilidad en contextos de extensa mortandad por la presencia de un evento desastroso.

En estas condiciones, la traducción a valores financieros de los beneficios o pérdidas potenciales humanas o materiales restringe la objetividad a la evaluación económica del proyecto. Frente a un desastre natural es necesario construir un esquema de análisis probabilístico acerca de la magnitud y fuerza del fenómeno, debido a que no se dispone de métodos que revelen el volumen de pérdidas directas o indirectas en un espacio territorial vulnerable.

Es preciso, por otra parte, contar con indicadores de tipo C-E, relativos al tipo de servicios que reportará la inversión en infraestructura social; proporciones de magnitud de cobertura de la demanda de la población, y grado de satisfacción de un servicio solicitado para un universo de población determinado.

Estos indicadores de efectividad se cotejarán, preferentemente, con los valores que se tendrían ante la ausencia de proyecto, es decir, la medición de un proyecto de mitigación habrá de contrarrestarse con el caso "sin proyecto". Este mismo análisis cabría respecto de soluciones arquitectónicas distintas en materia de mitigación.

Una forma alternativa de observar la conveniencia de realizar la evaluación a partir de los criterios de C-E sería la evaluación de un proyecto de reforzamiento de infraestructura hospitalaria cuando se tienen dos soluciones arquitectónicas para las obras de mitigación: una que emplee métodos y materiales tradicionales de reforzamiento, y otra que utilice torres metálicas exteriores con disipadores de energía ¹⁹ colocados en los vértices estructurales.

La segunda alternativa es 50% más costosa, y de manera preliminar la tasa de retorno sugeriría que la primera opción es más conveniente, pero a través de un análisis detenido de las condiciones del hospital (tan sólo el costo de desplazamiento de las instalaciones y el riesgo de trastornos a la salud de los pacientes hospitalizados que implica la primera modalidad) puede hacer funcional, social y políticamente preferible, la opción más costosa (ya que durante su construcción no deben ser desplazados los pacientes). El criterio de selección que defina la autoridad a cargo del proyecto se documentará, asimismo, con la percepción de la importancia relativa de sostener una solución frente a la otra.

¹⁸ Véase CEPAL, *Impacto económico de los desastres naturales en la infraestructura de salud* (LC/MEX/L.291), enero de 1996.

¹⁹ Véase OPS-OMS DIDRN, *Lecciones aprendidas en América Latina de mitigación en instalaciones de salud: Aspectos de costo-efectividad*, 1996.

6. Aplicación del modelo de costo-efectividad

En esencia, los objetivos de los proyectos de mitigación deberían de considerarse como los fines últimos perseguidos por la sociedad; por lo tanto, pertenecerían más bien al ámbito político y no al análisis técnico. Sin embargo, la identificación de alternativas constituye una dimensión central de este análisis. Se podrá así comparar el grado de eficiencia relativa que tienen proyectos diferentes para obtener los mismo objetivos.

Surge, por lo tanto, la necesidad de desarrollar un modelo de análisis que, sin dejar de perseguir una asignación racional de los limitados recursos, utilice instrumentos y procedimientos que permitan medir los logros que se espera alcanzar en materia de mitigación, comparándolos con los que se obtendrían por vías alternativas en circunstancias semejantes, y contrastándolos con los objetivos buscados.

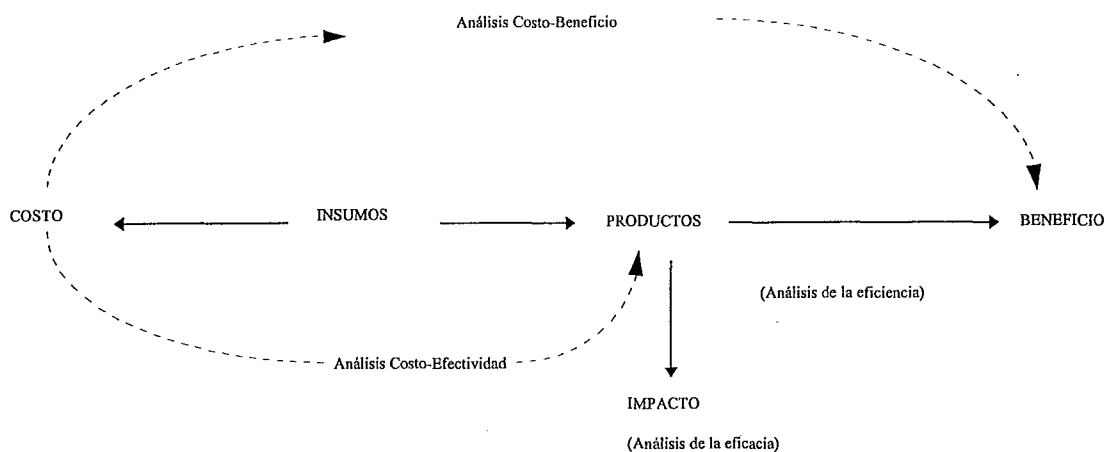
Este análisis cae más de lleno en el concepto de costo-efectividad, según el cual no se impone como prerequisite que los productos del proyecto se traduzcan a unidades monetarias.

Como es bien sabido, la evaluación tiene por objeto maximizar la eficiencia de los programas (minimización de los costos de los insumos o maximización de los productos del proyecto) o su eficacia (grado en que se alcanzan los objetivos del proyecto). Ahora bien, el análisis de C-B se basa en un principio muy simple: compara los beneficios y los costos de un proyecto particular, y si los primeros exceden a los segundos, entrega un elemento de juicio inicial que indica su aceptabilidad. A su vez, el análisis C-E, aunque sigue la misma lógica, compara los costos con la potencialidad de alcanzar más eficientemente los objetivos no expresables en moneda, sino en productos y servicios.

Por consiguiente, es importante recalcar que en la evaluación de un proyecto de mitigación de infraestructura social deben incluirse no sólo los aspectos cuantificables, ya que la posibilidad de traducir una dimensión del proyecto a unidades monetarias no es sinónimo de su relevancia. Ante esta situación, es recomendable que se realice un listado de dichos aspectos y de sus consecuencias, incluyéndolos como parte de la evaluación y permitiendo que sean tomados en cuenta en el proceso decisorio.

Gráfico 1

FLUJO DEL PROYECTO Y LA APLICACION DEL ACB O EL ACE



ACB: Análisis Costo Beneficio

ACE: Análisis Costo Efectividad

Por ejemplo, la efectividad de las inversiones de un proyecto hospitalario (o del reforzamiento de uno existente) podría medirse en función de la ampliación de los servicios (productos) de **salud** que traerá aparejada la obra, como serían:

- a) Número de consultas médicas de urgencia o de medicina general;
- b) Número de egresos de medicina interna (también los ingresos o admisiones);
- c) Número de camas habilitadas;
- d) Número de usuarios (derechohabientes) de los servicios de salud respecto del total de población demandante, y
- e) Personal médico y paramédico por institución.

Los proyectos de infraestructura de salud incluyen diversos niveles de atención, que a su vez comprenden instalaciones para consultorios, laboratorios, quirófanos, bancos de sangre, farmacias, guarderías, y unidades de hospitalización, entre otras.

En la determinación de los indicadores que se utilicen para medir los beneficios pueden existir limitaciones de información o de operatividad de los sistemas, por lo que se hace necesario emplear métodos indirectos de estimación a través de documentación referencial de otras instalaciones de servicio público o privado.

El paso siguiente consiste en plantear distintas alternativas de solución, especificando en cada caso la magnitud de los insumos requeridos y los productos resultantes.

Así, en el manejo de las estadísticas del sector salud relativas al seguro social mexicano en cuanto a la cobertura de la demanda de servicios médicos, se podría recurrir al concepto de consultas por cada mil usuarios referente al fragmento de la población inscrita que utiliza efectivamente los servicios, la cual representa aproximadamente un 85% de la población total de derechohabientes adscritos a las unidades médicas de la institución.²⁰

En las áreas médicas, la producción de servicios comprende una amplia gama de indicadores, diferenciados por el tipo de instalación que se trate. Así, por ejemplo, se tiene cinco grandes áreas usuales de atención: consulta externa, servicios auxiliares de diagnóstico, servicios auxiliares de tratamiento, urgencias, y hospitalización. Cabe señalar que de la correcta especificación de los indicadores definidos por área depende la correcta estimación de los costos de inversión en remodelaciones, ampliaciones, o reforzamientos estructurales.

En el caso particular del área de consulta externa, los servicios se contabilizan según: consultas otorgadas en medicina familiar, especialidades, urgencias, y dentales. En estos casos y los subsecuentes, se estiman indicadores relativos a "hora consultorio al año", "consultas por cada 1,000 derechohabientes usuarios", y "población soportada por hora consultorio al año". Estos indicadores se desagregan a su vez por región, instalación médica, o por especialidades médicas.²¹

De esta forma, de conformidad con los indicadores de servicio más frecuentemente utilizados por las instituciones de salud, es posible derivar indicadores técnicos para la estimación del C-E de los proyectos de inversión en reforzamiento de hospitales.

Para la identificación de los costos y beneficios del proyecto es necesario, por otra parte, definir una situación base o situación sin proyecto; la comparación de lo que sucede con proyecto versus lo que hubiera sucedido sin proyecto determinará los respectivos costos y beneficios. Un

²⁰ Véase Instituto Mexicano del Seguro Social, *Indicadores para el Cálculo de Recursos Físicos de las Unidades Médicas*, México, 1993.

²¹ Las especialidades médicas consideradas son las siguientes: Cirugía General, Pediatría, Gineco-Obstetricia, Medicina Interna, Traumatología, Oftalmología, Otorrinolaringología, Urología, Cardiología, Dermatología, Cirugía Pediátrica, Psiquiatría, Gastroenterología, Neumología, Medicina Física, Cirugía Plástica, Neurología, Angiología, Endocrinología, Oncología, Proctología, Hematología, Reumatología, Infectología, Alergología, Cirugía Cardio-Vascular, Cirugía Maxilo-Facial, Genética, Medicina del Trabajo, Nefrología, y Audiología.

primer paso de la evaluación consiste, pues, en la prueba “con” y “sin” el proyecto, efectuando la proyección de las tendencias presentes (prognosis sin intervención) y comparándolas frente a las modificaciones que ellas sufrirían.

En el sector de **educación** los factores relevantes en cuanto a infraestructura serían: la construcción, rehabilitación y equipamiento de unidades de educación, preescolar, básica, secundaria, media-superior, superior, instituciones de investigación, centros culturales y deportivos, y escuelas de educación especial. Los parámetros de C-E comprenderían:

- a) Número de egresados por institución
- b) Número de docentes por institución
- c) Cursos concluidos por ciclo escolar
- d) Proporción de alumnos respecto de la población total
- e) Escuelas construidas respecto de la población total
- f) Población atendida por grupos de edad
- g) Eficacia terminal esperada por institución

En un proyecto de **agua y alcantarillado**, los factores a considerar serían:

- a) Población objetivo sin dotación de agua potable, asentada en una zona de difícil acceso
- b) Número de tomas habilitadas
- c) Número de usuarios de los servicios de agua potable respecto del total de población demandante
- d) Número de instalaciones domiciliadas de alcantarillado respecto de las casas habitación de la zona

Las obras de construcción para agua se extienden a sistemas de captación, redes de distribución y tomas domiciliarias. Con relación a alcantarillado, los sistemas pueden comprender unidades de tratamiento de aguas y reciclaje.

En el sector **vivienda** los proyectos tienen una amplia gama de posibilidades constructivas de acuerdo con la disponibilidad financiera, de terrenos y de materiales de construcción. En cuanto a elementos de C-E para proyectos de este sector, los factores a considerar serían primordialmente de orden cuantitativo, más que cualitativo:

- a) Familias damnificadas
- b) Viviendas entregadas, reconstruidas, habilitadas
- c) Crédito otorgados a la construcción, adquisición o mejoramiento
- d) Lotes urbanizados
- e) Parques, centros recreativos, deportivos

7. Importancia de los análisis de vulnerabilidad para la aplicación de modelos de costo-efectividad

Si se desea emprender acciones eficaces para la mitigación de los efectos de los desastres naturales, deben conocerse previamente las características de la amenaza, su ubicación geográfica y su magnitud, tanto en el país como en el área en que se piensa instalar una obra de infraestructura o mejorar una existente. Uno de los pasos fundamentales del análisis C-E exige contar con un *diagnóstico* de la situación en el que se especifique el problema que el proyecto en cuestión tratará de superar.

La comunidad científica dispone, en la mayoría de los casos, de estadísticas sobre ocurrencia de eventos y su magnitud, áreas de afectación y probables períodos de retorno. Incluso, se cuenta a veces con esta información procesada en forma gráfica mediante mapas de zonificación y hasta microzonificación, que incluyen además características geológicas y dinámicas de los suelos de la región. Sobre esta base, se pueden estimar las pérdidas probables ante eventos futuros.²²

El análisis de la información sismológica existente en la región, tanto en los catálogos sísmicos como en las fuentes históricas, junto con la información geológica disponible en cada país, permite elaborar mapas de regionalización sísmica, en donde se divide al país en zonas de igual sismicidad. A cada zona corresponden parámetros específicos para la evaluación de las fuerzas sísmicas.

Existen datos sobre riesgos sísmicos de varias regiones de América Latina que son útiles a este respecto.²³ Dichos datos aparecen expresados en términos de la intensidad máxima esperada, con 90% de posibilidad de que ésta no sea sobrepasada. Estas zonas aparecen identificadas ya sea como líneas de fallas geológicas o mediante otras características geotectónicas.

²² Véase Rosales, Vanessa, *Políticas Generales para incorporación de las amenazas naturales en proyectos de inversión en infraestructura de la salud*, Programa Preparativos para Emergencias, Organización Panamericana de la Salud, septiembre de 1995.

²³ Son los datos conocidos como de Máxima Intensidad Modificada de Mercalli (MMI).

Por ejemplo, el Centro Nacional de Protección frente a Desastres Naturales de México (CENAPRED) elaboró un Atlas Nacional de Riesgos, en el que se distinguen los de origen geológico (sismos, vulcanismo, deslizamiento y colapso de suelos), hidrometeorológicos (cyclones tropicales, inundaciones, nevadas, granizadas, sequías, lluvias torrenciales, temperaturas extremas, tormentas eléctricas, mareas de tempestad e inversiones térmicas) y otros fenómenos. De manera complementaria, se cuenta con información descriptiva de los fenómenos más frecuentes, su ubicación y el grado de vulnerabilidad ante su eventual aparición.

Sobre la base de esta información se han podido determinar en México aquellas zonas que presentan un mayor riesgo, así como los efectos derivados, lo cual permite alimentar y afinar los criterios de identificación, con el propósito de establecer los mecanismos de prevención de desastres en las distintas regiones del país. Como se sabe, la distancia de una determinada ubicación a los epicentros y las características de su suelo determinan el efectivo riesgo sísmico.²⁴

Dentro de un mismo país o región existen marcadas diferencias en cuanto al riesgo sísmico, que pueden llegar a superar 1.5 grados en la escala de Mercalli. A partir de datos como éstos, un proyecto de mitigación podría, por ejemplo, fijar un límite superior al 10% sobre el riesgo máximo Mercalli modificado durante un período de 20 años.

Con objeto de evaluar las fuerzas sísmicas, los edificios se clasifican de acuerdo con su uso y sus características estructurales. En cuanto al uso, la mayoría de las normas distinguen a los edificios importantes ya sea porque en ellos existan grandes concentraciones de personas, o porque su permanencia resulte vital para responder a las situaciones de emergencia provocadas por los sismos.

En virtud de que se ha logrado un avance relativamente mayor en la región en materia de la realización de proyectos de mitigación en la infraestructura de la salud, se hará referencia especial a éstos.

Conviene subrayar que los hospitales son un buen ejemplo tanto de edificios con una gran densidad de uso, como de centros indispensables para la atención de las víctimas después de un sismo. En general, a los edificios importantes se les asigna un factor de sobrediseño que afecta directamente al cálculo de las fuerzas sísmicas.²⁵

De acuerdo con las recomendaciones de la OPS,²⁶ se debe tomar en cuenta en la planificación de la construcción y en la remodelación de estructuras hospitalarias, la vulnerabilidad del área en la que se encuentran asentados o en la que se ubicarán.

²⁴ En cuanto a la calidad del suelo, suelen distinguirse 4 categorías: i) roca, ii) grava densa o su equivalente; iii) arenas de mediana densidad o arcillas rígidas, y iv) arcilla, que varía entre media y blanda.

²⁵ Véase Iglesias, Jesús "Normas de Diseño Sismorresistente en América Latina: Limitaciones", presentado al Seminario Internacional de Planeamiento celebrado en Lima, Perú, entre el 20 de agosto y el 9 de septiembre de 1989.

²⁶ Véase, Zeballos, José Luis, *El rol de la OPS en preparativos hospitalarios para situaciones de desastres*, Lima, Perú, septiembre de 1989.

Previo a ello habría que clasificar a los hospitales de acuerdo con sus factores de riesgo y vulnerabilidad frente a desastres. Paralelamente habría que desarrollar planes de respuesta interna y externa en hospitales, así como proceder al correspondiente adiestramiento del personal.

Un proyecto de mitigación deberá de estar necesariamente referido al número de víctimas y daños materiales que el reforzamiento de un hospital –o la construcción de uno nuevo con coeficientes más elevados de resistencia ante desastres naturales– permitiría evitar. Sin embargo, no resulta fácil predecir cuál sería la situación de no haberse realizado el mencionado proyecto. Por otra parte, mientras que la ocurrencia de huracanes hasta cierto punto es factible de predecir, no sucede lo mismo con los temblores.

Aún más, dado el espaciamiento temporal con que ocurren los desastres naturales y su diferente naturaleza y grado de intensidad, resulta extremadamente difícil, basándose en la experiencia pasada, derivar relaciones medianamente válidas para fijar algunos parámetros que relacionen desastre-víctimas o desastre-daños materiales.

Por ejemplo, si el estudio de las amenazas naturales en un sitio específico escogido para ubicar un hospital nuevo demuestra que se trata de una zona de altísima peligrosidad, para la cual las normas vigentes sobre diseño y construcción no pueden garantizar niveles aceptables de seguridad o de funcionalidad ante un evento natural, el proyecto debería descartarse en favor de uno en un sitio más adecuado. En caso de adoptarse esta decisión, un factor de peso es la disponibilidad y conveniencia de las “líneas vitales”: accesos, abastecimiento de agua potable y electricidad, y comunicaciones.²⁷

Naturalmente, si las modificaciones son significativas se afectará el presupuesto original del proyecto. En cambio, si se trata de un hospital existente, se parte del hecho de que éste es inamovible, y que la inversión que se haga deberá garantizar un nivel mínimo de seguridad y de funcionalidad.

Asimismo, deberán tomarse en cuenta en el análisis de vulnerabilidad²⁸ ciertos aspectos asociados a la zona de influencia del hospital en caso de una emergencia, y estimarse los efectos que un probable desastre ocasionaría en dicha zona, tales como la capacidad de acceso de personas al hospital, y la correspondiente demanda emergente del servicio hospitalario que surgiría ante esa eventualidad.

Suponiendo que el área seleccionada para proyectos de infraestructura nueva es la adecuada y que se conoce el grado de amenaza del entorno en el caso de la infraestructura existente, el siguiente paso consistiría en determinar el grado de cumplimiento del diseño propuesto a los requisitos locales de seguridad (como códigos y normas de construcción). En el caso de que los códigos de construcción no ofrezcan los requisitos de resistencia al tipo de amenaza identificada, debe propenderse a su modificación. También podrá considerarse necesario realizar obras de infraestructura preventiva en las zonas de riesgo.

²⁷ Véase Rosales, Vanessa, *Políticas generales...*, *op. cit.*

²⁸ Krauskopf, Boroschek R., *Establecimiento de un plan nacional para la reducción de los efectos sísmicos en sistemas de salud*, Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres Naturales en Instalaciones de Salud, México, febrero de 1996.

No se cuenta en todos los países de la región con una normativa de soporte, como un código de construcción de cumplimiento obligatorio que permitiera cuantificar el nivel mínimo de seguridad o el riesgo aceptable. Así, es preocupante que en algunos países con reconocida susceptibilidad al embate frecuente de desastres, como terremotos y huracanes, se carezca de normas propias, adaptadas a su contexto. En muchos casos, estas normas o códigos existen, pero no tienen carácter obligatorio, o no se crearon paralelamente los mecanismos para velar por su acatamiento. En otros casos, la limitación es de orden presupuestario, por lo que la vulnerabilidad de las edificaciones persiste.

Este punto es crítico, ya que deberá definirse un “nivel de riesgo aceptable”, lo cual entraña dificultades incluso de orden ético. Por ejemplo, qué grado de pérdidas se puede aceptar; si se desea garantizar únicamente la preservación de vidas o más bien la operatividad del servicio después de un desastre; si se considera apropiado que el edificio permanezca en pie, sin colapsar, aunque se dañen equipos e instalaciones valiosas; si es suficiente que el edificio permanezca en pie sólo hasta evacuar a todos sus ocupantes; si se contará con recursos financieros para recuperar lo que se pierda; y finalmente, si existen otras instalaciones supletorias en las cercanías, a las que se pueda remitir a las víctimas de desastre.

8. Etapas para la aplicación del análisis costo-efectividad en proyectos de mitigación

Basándose en una readaptación de la metodología tradicional para la formulación de proyectos de inversión, es posible identificar las diferentes etapas a cumplir en un proyecto de mitigación.²⁹

A continuación se describe con mayor detalle la información requerida en cada una de estas fases:

- a) Estudio preliminar. En esta fase se definirá la información que será empleada para el estudio del área de riesgo, los objetivos y las características del estudio y se preparará el programa de trabajo.
- b) Diagnóstico. La información sobre desastres naturales y mapas de riesgo será utilizada en el diagnóstico para la identificación de áreas propensas al riesgo, zonificación de uso de suelo, e identificación preliminar de medidas de mitigación.
- c) Estudios de prefactibilidad y factibilidad. La información sobre vulnerabilidad será utilizada para afinar los costos y beneficios del proyecto al nivel de prefactibilidad. Las consideraciones de riesgo serán incorporadas en las diferentes etapas de formulación del proyecto (el estudio de mercado, la localización, aspectos de ingeniería, etc.); además, deberán seleccionarse las medidas estructurales y no estructurales de mitigación.

²⁹ Preparado sobre la base de información de OEA/USAID, *Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning*, Washington, D.C., 1991.

Etapas	Proceso de preparación del proyecto	Actividades con relación a la ocurrencia de desastres
Fase preliminar: Determinación de la vulnerabilidad	Ideas de proyectos: Generación de ideas de proyectos de inversión	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de información básica sobre desastres • Determinación del valor asignable a los desastres, dentro del estudio integral
Diagnóstico: Determinación de recursos y necesidades. Identificación de la capacidad institucional frente a problemas críticos.	Perfil de proyecto Preparación de perfiles de proyectos	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación de situación de desastres naturales en el área • Determinación del riesgo social aceptable de cada tipo de desastre • Determinación de la información base de riesgo y vulnerabilidad
Formulación y plan de acción: Formulación de la estrategia local, incluyendo programas de apoyo institucional y legal. Formulación de los proyectos de inversión	Prefactibilidad Formulación del proyecto. Revisión de su viabilidad técnica y económica Factibilidad Formulación detallada y evaluación final de proyectos seleccionados	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación y análisis técnico de medidas de mitigación en el proyecto • Evaluación de medidas de mitigación • Evaluación de costo-efectividad • Evaluación de proyecto (s) al nivel de prefactibilidad • Selección de las mejores opciones de proyectos y medidas de mitigación • Evaluación económica final considerando el riesgo • Diseño final de proyecto (s) incluyendo medidas de mitigación estructurales y no estructurales
Instrumentación: Aplicación de la estrategia integral: programas institucional, fiscal y legal, y proyectos de inversión	Instrumentación: Instrumentación de proyectos de inversión seleccionados	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de procedimientos de construcción de acuerdo con diseño de ingeniería y medidas de mitigación estructural • Monitoreo de medidas de mitigación no estructural • Diseño de monitoreo de largo plazo para garantizar la operación de medidas de mitigación instrumentadas

En el nivel de factibilidad, la información disponible puede ser complementada por valuaciones de desastres específicos, lo que permitirá afinar cálculos de costo y beneficio. Pueden ser empleados métodos de evaluación probabilística para la generación de indicadores de distribución de riesgo. Asimismo, se deben incorporar indicadores específicos de costo-efectividad utilizando las cuantificaciones de los bienes y servicios que se protegerán con las medidas de mitigación.

En el caso de un proyecto de mitigación, los beneficios esperados tienen que ver con los servicios adicionales que el proyecto permite asegurar al disminuir las consecuencias de un desastre natural (por ejemplo: número de consultas médicas, número de ingresos y egresos de medicina interna, número de camas habilitadas y, en general, número de usuarios de los servicios de salud respecto del total de población demandante).

Instrumentación: La instrumentación de una estrategia integral y de proyectos particulares de mitigación deberá incluir el monitoreo de los procedimientos de construcción para asegurar su adecuación a los estándares de ingeniería recomendables en la parte estructural. Se programará, asimismo, el monitoreo de largo plazo para asegurar la adecuación de las medidas de mitigación de diseño no estructural.

9. Rubros a considerar en un proyecto de mitigación y criterios de valuación

Un proyecto de mitigación comprende, como se ha visto, varias fases que podrían resumirse en: a) análisis de vulnerabilidad, b) proyecto de obra, c) ejecución de la obra, y d) pruebas de resistencia.

Ya se ha hecho referencia a la primera etapa, consistente en la apreciación de la vulnerabilidad del área donde está emplazada o será emplazada la obra, mediante diversos estudios de riesgo, según las distintas regiones del país.

En el caso del sector salud un proyecto de obra debe contemplar, además del terreno, las inversiones en infraestructura básica (construcción, cancelería, instalaciones para suministros básicos y acabados), equipamiento (equipo médico, administrativo, comunicaciones y transporte), obra exterior (pavimentación, alumbrado, jardinería). Debe contemplar también los costos indirectos accesorios al proyecto, como remoción de escombros, demoliciones, instalaciones temporales para suplir la suspensión de servicios mientras dura la obra, y otros gastos corrientes.

La determinación de los costos de mitigación para hospitales existentes requiere la aplicación de una metodología que reúna al menos cuatro condiciones:³⁰

a) Criterios para la valorización. Es necesario valorar por separado los aspectos estructurales de los no estructurales. Entre los estructurales se cuentan la planta y las instalaciones comprendidas en la edificación; entre los no estructurales, los equipos fijos, médicos y complementarios.

b) Valorización del deterioro y la obsolescencia de instalaciones y equipos. Requiere ser aplicada a cada uno de los componentes y partes por motivo de su heterogeneidad. Para ello es conveniente la observación de los índices de rehabilitación, reparación, eliminación y modificación, respecto de un equipo nuevo.

c) Indicadores y proporciones actualizadas. Los costos se estimarán con relación a la inversión inicial de construcción y equipamiento de un hospital moderno equivalente al que se proyecta construir. La participación porcentual permitirá conocer la magnitud de inversión en cada sector hospitalario, de manera individual.

³⁰ Véase Céspedes Mogollón, Julio, "Evaluación preliminar del costo de rehabilitación hospitalaria", Universidad Nacional de Ingeniería, Seminario Internacional de Planeamiento, Diseño, Reparación y Administración de Hospitales en Zonas Sísmicas, Lima, Perú, septiembre de 1989.

d) Flexibilidad. La metodología de valuación no puede aplicarse de manera rígida a cualquier tipo de hospital; es necesario considerar las variables condicionantes de cada caso particular, en especial: la actualización tecnológica, el nivel de financiamiento disponible, los estándares de seguridad locales, la capacidad de operación, entre otros.

En la formulación de proyectos de mitigación es conveniente la unidad de criterios para definir los costos y los efectos esperados. Para ello, se recomienda la participación de las áreas involucradas para definir los términos de referencia iniciales y los conceptos a considerar. Seguiría la enumeración de las condiciones técnicas administrativas, económicas y políticas de cada caso, que guiarán los parámetros de valoración.

Al momento de formular el proyecto es posible que se presenten limitaciones técnicas conceptuales o prácticas para configurar los efectos de manera agregada u homogénea, restringiendo las posibilidades de evaluar correctamente los beneficios o los costos.

La evaluación de la rentabilidad o más bien la efectividad de los proyectos de inversión en hospitales, sobre todo cuando pertenecen al conjunto de servicios gubernamentales de atención a la salud, es compatible con otros proyectos de orden social, como las escuelas y los servicios de alumbrado eléctrico, entre otros. Se considerarán, por tanto, los indicadores de orden social que revelen los servicios otorgados a un núcleo de población claramente determinado, según su ubicación geográfica, posición económica, sexo, o edad.

El grado de vulnerabilidad o factor de riesgo de las instalaciones sociales está asociado al tipo de instalación que se trate, a sus condiciones físicas, su ubicación geográfica, su localización urbana, grado de deterioro, obsolescencia, e intensidad de uso. En este sentido, la factibilidad de un proyecto de mitigación depende de las condiciones particulares que presente la infraestructura social del país correspondiente y con los recursos presupuestarios de que pueda disponerse para su realización.

Existen también diferencias en cuanto a la factibilidad, que tienen que ver con la magnitud del proyecto de mitigación, dado que en la mayoría de los casos se requiere de la atención de secciones bien definidas dentro de las instalaciones físicas, o de soluciones arquitectónicas alternas para toda una planta. En la mayor parte de los casos, la factibilidad técnica se basará en los resultados de los indicadores de ingeniería, y la factibilidad financiera basada en los criterios de C-E del proyecto.

Anexo I

**MODELO APLICABLE EN LA FORMULACION DE PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA SOCIAL PARA LA MITIGACION
DE DESASTRES NATURALES**

1. Estudio de vulnerabilidad
 - a) Características y evaluación de riesgo del fenómeno natural
 - b) Estudios geológicos, meteorológicos y de impacto en la infraestructura
 - c) Identificación de probabilidad de daños directos, indirectos y efectos secundarios
 - d) Población vulnerable y medidas de mitigación existentes
2. Descripción del proyecto
 - a) Objetivo y justificación
 - b) Marco legal y administrativo
 - c) Investigación estadística
 - d) Población afectada o beneficiaria
 - e) Aspectos socioeconómicos
 - f) Investigación de campo
 - g) Encuesta a la población objetivo
 - h) Encuesta a las instituciones involucradas
 - i) Políticas de prevención y desarrollo social
 - j) Modalidades alternas de solución (proyectos alternativos)
 - k) Demanda local de infraestructura preventiva
3. Tamaño
 - a) Tamaño mínimo económico
 - b) Tamaño óptimo
4. Localización
 - a) Macrolocalización
 - b) Microlocalización y servicios disponibles
5. Ingeniería del proyecto
 - a) Requerimientos materiales y tecnológicos
 - b) Requerimientos de mano de obra
 - c) Obras complementarias
 - d) Programa calendarizado de construcción
 - e) Distribución de instalaciones

6. Inversiones y costos

- a) Terreno
- b) Edificación
- c) Obras complementarias
- d) Gastos administrativos y de operación
- e) Gastos financieros

7. Financiamiento

- a) Aportaciones gubernamentales
- b) Préstamos institucionales
- c) Aportaciones sectoriales
- d) Programa de financiamiento
- e) Inversión recuperable
- f) Balance financiero

8. Evaluación económica y social

- a) Análisis de sensibilidad del proyecto base
- b) Análisis comparativo con conceptos arquitectónicos alternos
- c) Costo-efectividad

9. Aspectos organizativos

- a) Estructura administrativa
- b) Especificación de responsabilidades

Anexo II

MEDIDAS DE MITIGACION RECOMENDADAS

La Organización Panamericana de la Salud ha determinado un conjunto de medidas de mitigación aplicables en edificaciones hospitalarias existentes, clasificadas según se trate de riesgos en la estructura, riesgos no estructurales y los relativos a la conducta humana.

Estructurales	No estructurales	Funcionales y de organización
Diseño Calidad de la construcción Tipo de materiales Condiciones del suelo Localización del terreno Características sísmicas Cumplimiento y aplicación de normas de construcción	Elementos arquitectónicos (cielos rasos, fachadas, ventanas, puertas, etc.) Líneas vitales de funcionamiento (agua, energía, comunicaciones, etc.) Instalaciones eléctricas, mecánicas e hidráulicas; muebles, equipos médicos y otros enseres	Distribución física espacial Información pública Motivación Planes de contingencias Programas educativos Entrenamiento al personal de salud Realización de simulacros Organización de sistemas

La aplicación de medidas para el reforzamiento estructural debe ajustarse a las normas y requisitos técnicos del país.

En cuanto a las medidas no estructurales, se contemplan las siguientes:

- a) Remoción. Alejar materiales peligrosos o retirar revestimientos vulnerables.
- b) Reubicación. Elegir sitios seguros para equipos pesados o materiales peligrosos.
- c) Movilización restringida. Sujetar al piso cilindros de gas o generadores.
- d) Anclaje. Asegurar con pernos o cables los equipos pesados.
- e) Acoples flexibles. Emplear tuberías flexibles en las uniones con edificios.
- f) Soportes. Aplicar sujetadores a equipos ligeros desprendibles.
- g) Sustitución. Suplir en techos el material de teja por cubiertas livianas.
- h) Modificación. Colocar recubrimientos plásticos a vidrios y materiales frágiles.
- i) Aislamiento. Colocar paneles laterales a estantes y puertas.
- j) Refuerzo. Colocar mallas de alambre o recubrimientos a muros vulnerables.
- k) Redundancia. Almacenar medicamentos de reserva en sitios aislados.
- l) Respuesta rápida y reparación. Almacenar suministros y herramientas en sitios accesibles y seguros que permitan su rápida utilización en emergencias.

Estas intervenciones para reducir la vulnerabilidad no estructural pueden ser identificadas y ejecutadas con un mínimo de inversión económica.

Una vez establecidas las medidas de seguridad de estructuras, servicios y personas, se recomienda organizar y desarrollar simulacros que midan la capacidad de respuesta de la edificación ante emergencias.

Anexo III**UN ESTUDIO DE CASO: EL PUENTE DE TOLTEN EN CHILE**³¹**1. Resumen**

El presente trabajo expone la metodología adoptada para la estimación de los costos socioeconómicos derivados del colapso de un importante puente sobre la principal carretera longitudinal chilena, a raíz de un aumento excepcional en el volumen de agua del río Toltén, en julio de 1993. Además, se efectúa una comparación entre dichos costos y el valor de un programa de inspecciones que hubiera permitido al Ministerio de Obras Públicas (MOP) evitar la avería. La conclusión es que sería altamente beneficiosa una mayor inversión en un programa destinado a identificar y corregir fallas en los puentes carreteros antes de que alcancen niveles críticos.

El puente Toltén fue declarado intransitable el 8 de julio de 1993 y se determinó que el tráfico se desviara por una ruta alternativa 46 km más larga. El desplazamiento local de personas fue atendido, inicialmente, por un servicio ferroviario de emergencia, y luego mediante la colocación de una pasarela. El tránsito de vehículos sobre el río en este punto no se restableció hasta la instalación de una estructura *Bailey*, el 16 de septiembre. Hasta ese momento, el tráfico local se vio severamente entorpecido, por un aumento en la distancia origen-destino de alrededor de 700%. Sin embargo, los mayores costos socioeconómicos no se refirieron al tráfico local, sino: i) al tráfico de larga distancia, que tuvo que circular por una ruta alternativa, hasta el momento en que se colocara el puente *Bailey*, y ii) al tráfico normal sobre los caminos que constituyen esa ruta alternativa, cuyo pavimento permaneció deteriorado durante otros 17 meses, a raíz de que el desvío de vehículos pesados hacia esos caminos les ocasionó un desgaste prematuro.

Las inversiones más importantes exigidas por el colapso del puente Toltén no fueron las de colocar la estructura *Bailey* y de reparar el puente permanente; más bien, se trataron de las relacionadas con una repavimentación de emergencia a los caminos alternativos y el adelanto de su reconstrucción.

2. Introducción y breve descripción del caso

El puente carretero sobre el río Toltén, ubicado a pocos metros al norte del poblado de Pitruquén en la carretera Ruta 5 (sur), sufrió una seria avería en julio de 1993, a raíz de un aumento en el volumen de agua que corre por el cauce del río. En el presente trabajo se analizan los costos socioeconómicos derivados de ese fenómeno, con el objetivo principal de comparar dichos costos con el de un

³¹ El autor de este estudio es el señor Ian Thomson, oficial económico de la Sede de la CEPAL en Santiago de Chile.

programa de revisión y mantenimiento de puentes, mediante el cual hubiera sido posible identificar la condición deteriorada de la estructura y tomar medidas correctivas antes de que se colapsara.³²

El puente de la Ruta 5 (sur) sobre el río Toltén está ubicado aproximadamente a 30 km al sur de la ciudad de Temuco, que a su vez está situada a 677 km al sur de Santiago. Se trata de uno de los puentes más antiguos de la carretera, construido en 1935, muchos años antes de que ésta fuera pavimentada. Su ancho original era de dos pistas angostas, por lo que dos vehículos grandes no podían atravesarlo al mismo tiempo. En 1992 las pistas fueron ensanchadas, lo que facilitó el tránsito caminero, a costa de complicar el de los peatones. Luego, en 1995, el Ministerio de Obras Públicas proyectó reemplazarlo por un nuevo puente, a unos pocos metros aguas arriba del existente. Aproximadamente a 60 metros aguas abajo de éste, hay un puente ferroviario correspondiente a la línea principal de Santiago a Puerto Montt.

Además de ser muy limitada la disponibilidad de fondos en el Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas para las tareas de inspección y mantenimiento, el cumplimiento de dichas tareas se vio dificultado por las consecuencias de un incendio que destruyó una parte importante de los planos de los puentes carreteros, en 1971, aproximadamente.

Con posterioridad, utilizando métodos fotográficos, a través de un programa de cooperación técnica de la Agencia Japonesa de Colaboración Internacional, se hicieron reproducciones de las partes sobre el nivel de agua de los puentes de la Ruta 5.

Sin embargo, ese programa de colaboración no pudo identificar una falla que debilitaba, por debajo del nivel del agua, una de las cepas centrales de la estructura. Durante varios años, la acción de las corrientes de agua y el arrastre de material rocoso había socavado esa cepa. Luego, en dos ocasiones durante el invierno austral de 1993, el agua del río subió a un nivel que había sido pronosticado para una sola vez en 100 años, lo que agravó el problema.

En la mañana del jueves 8 de julio de 1993 se asentó la parte central del puente e inmediatamente, como precaución, la policía de Carabineros prohibió su utilización a peatones y vehículos. A mediodía, el ingeniero jefe del Departamento de Puentes del MOP, quien se encontraba haciendo una inspección en la zona sur del país, aterrizó en una avioneta en el aeropuerto Maquehue (que atiende la ciudad de Temuco) y posteriormente se dirigió al sitio del incidente, en donde declaró definitivamente intransitable el puente. El tránsito vehicular fue redirigido a través de Villarrica, mediante los caminos 119 de Freire a Villarrica y 91 de Villarrica a Loncoche, donde se retomaba la Ruta 5.

³² Cabe agradecer la colaboración de las personas e instituciones identificadas a continuación, quienes proporcionaron informaciones básicas para la elaboración del presente trabajo: i) Departamento de Puentes del Ministerio de Obras Públicas: ingeniero Raúl Vásquez, Jefe; ingeniero Manuel Caracedo; ingeniero Francisco Cornejo; ingeniero Patricio Puelma; ii) Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas: ingeniero Mac García; iii) Unidad de Censos de Tránsito del Ministerio de Obras Públicas: señorita Giannina Figueroa; iv) Secretaría del Ministerio de Obras Públicas en la Novena Región: ingeniero Manuel Robles, Jefe del Departamento de Estudios, y v) Ferrocarriles del Estado de Chile: ingeniero Eduardo Zepeda, Jefe Zonal Temuco.

La ruta de desvío se encontraba pavimentada en un 100%, pero su distancia total, de 100 km, casi duplicaba la normal entre Freire y Loncoche, que es de 54 km. Trazadas en un mapa, las tres vías —es decir, i) la Ruta 5 entre Freire y Loncoche; ii) el camino 91 de Loncoche a Villarrica, y iii) el camino 119 de Villarrica a Freire— se presentan como los tres lados de un triángulo.

En la tarde del mismo 8 de julio, la Gerencia de Pasajeros de *Ferrocarriles del Estado* (EFE) puso en operación un servicio de emergencia, proporcionado por una locomotora de patio, e inicialmente un coche de clase económica, y luego dos. Este servicio de emergencia permaneció en operación hasta el 12 de julio. EFE rehabilitó las boleterías de las estaciones de Freire, Pitrufrquén y Gorbea, las que habían quedado sin servicio de trenes de pasajeros durante intervalos de dos años o más. EFE cobró tarifas normales.

Adicionalmente, según se puede apreciar en los diagramas de los trenes de la época, algunos servicios ferroviarios fueron operados exclusivamente para atravesar el puente ferroviario, desde la orilla sur del río a la norte y viceversa. Aparentemente, no se cobró tarifa para estos traslados. A partir del día 12, nuevamente los peatones pudieron transitar a pie de un lado del río al otro, gracias al tendido de una pasarela por parte del MOP. Los peatones tenían que desplazarse sobre la primera sección del puente carretero, luego a 90 grados hacia el ferroviario, por donde continuaban hasta una segunda estructura transitoria que los conducía de regreso al puente de carretera, por el que cruzaban a la orilla opuesta. Ese mismo día, el servicio ferroviario de emergencia fue suspendido.

A partir del 13 de julio se puso en marcha un servicio ferroviario gratuito, contratado con EFE por la Intendencia de la IX Región, por un monto de alrededor de 10 millones de pesos chilenos.³³ Este servicio de postemergencia también operó sobre el eje Temuco-Freire-Pitrufrquén-Gorbea. Hasta el 23 de julio hubo 11 frecuencias diarias, reducidas a ocho a partir del día 24, y sólo hasta el 30, día en que se suspendió el servicio.

El 16 de septiembre se colocó sobre la estructura del averiado puente de carretera una estructura metálica de tipo *Bailey*, que fue retirada el 17 de diciembre. La instalación del puente *Bailey* permitió la restauración del tránsito entre las dos orillas, sin restricción especial de peso. Por contar con una sola pista, el tránsito sobre ese puente fue dirigido por bandereros. A partir del 18 de diciembre, el tránsito volvió a su condición normal sobre el reforzado puente permanente.

Una de las conclusiones más importantes del presente análisis es que la inversión de un monto relativamente modesto en la inspección y reparación de puentes es capaz de generar retornos altamente positivos.

2. Las inversiones hechas por el MOP a raíz del colapso del puente

Las inversiones efectuadas por el MOP no se limitaron solamente a la reparación del puente permanente y a la colocación de la pasarela peatonal y del puente *Bailey*. El desvío de tránsito pesado por los caminos 119 y 91 les causó un deterioro prematuro a esas vías. Debido a esto, el MOP se vio obligado a encargar un estudio de ingeniería para determinar las acciones que correspondía emprender con respecto a dichos caminos. A raíz del estudio, se decidió adelantar cinco años su reconstrucción,

³³ Todos los costos se expresan en valores de diciembre de 1994.

incluyendo además la sustitución del pavimento de doble tratamiento sobre el tramo Freire-Villarrica por una mezcla de asfalto-hormigón.

Adicionalmente, como medida inmediata, se efectuó una reparación emergente de los dos caminos señalados, consistente esencialmente en una repavimentación parcial de los tramos más deteriorados. Indirectamente relacionado con el desastre está el proyecto de reemplazar el puente de carretera por un nuevo puente.

3. Los costos relacionados con el daño ocasionado al puente

a) Los costos relacionados con el desastre

El cuadro 1 presenta una estimación de los costos económicos ocasionados por el colapso del puente Toltén de carretera. El total asciende a unos 5,619 millones de pesos, equivalente a unos 14 millones de dólares. De esta suma, más de la mitad (60%) constituyen costos, que se pueden llamar *indirectos*, relacionados básicamente con los mayores costos de transporte durante el período en que ocurrió del desastre y el restablecimiento de condiciones normales. La mayoría de los costos indirectos (59%) se vinculan con los recargados costos de transitar por Villarrica durante el período de la interrupción del tránsito sobre la Ruta 5 y con la supresión de viajes a raíz de los aumentos en el costo del transporte, los que fueron especialmente importantes en el caso del tráfico local entre la zona de Gorbea/Pitrufquén y la de Freire/Temuco, que tuvo que enfrentar una extensión del recorrido de más de 700% a raíz del cierre del puente. Casi todo el resto se refiere a los mayores costos de operación de los vehículos que circularon por los caminos Freire-Villarrica y Villarrica-Loncoche, desde el momento en que se colocó el puente *Bailey* hasta la repavimentación parcial de dichos caminos, en el verano austral de 1995.

Entre los costos *directos*, es decir, las inversiones, el segundo más importante fue el de reparar el propio puente de carretera, incluidos los relacionados con la colocación del puente temporal de tipo *Bailey*. Sin embargo, el costo directo más importante fue el de adelantar la reconstrucción de los caminos 119 y 91, debido a su desgaste prematuro.

b) El costo de haber evitado el desastre

Para poder estimar la inversión que habría sido necesaria para evitar el desastre, corresponde considerar dos categorías de costo. La primera comprende un programa de inspección de puentes, que hubiera podido identificar la socavación de las cepas del puente Toltén; la segunda se refiere al costo de reparación de la cepa que se encontraba dañada.

Una eventual Sección de Inspección dentro del Departamento de Puentes del MOP tendría costos del orden que se indica a continuación. Como mínimo, dicha Sección requeriría un ingeniero jefe, un ingeniero asistente y una secretaria, cuyo costo anual sería de aproximadamente 59 millones de pesos, incluido el apoyo administrativo. Tendría que contar con el uso exclusivo de un vehículo todo terreno, cuyo costo anual sería del orden de 5 millones de pesos (considerando la depreciación y mantenimiento). El costo anual del combustible sería de aproximadamente 1.6 millones de pesos

(incluidos traslados de ida y vuelta al sur del país a bordo de un tren nocturno). El arriendo de oficinas y su equipamiento se valorizan en unos 4.5 millones de pesos. Los viáticos ascenderían a unos 12.5 millones de pesos anuales y el valor de los equipos especializados de análisis e inspección podría alcanzar aproximadamente la misma cifra. En suma, el costo total de la Sección de Inspección llegaría a unos 95.5 millones de pesos al año.

Es muy difícil estimar el costo de reparar la cepa del puente si la falla hubiera sido identificada a tiempo; no obstante, difícilmente habría superado el monto de 250 millones de pesos.

A una tasa de interés de un 12%, el costo anual de la Sección de Inspección corresponde un monto fijo de unos 800 millones de pesos. Así, mediante la inversión de la suma de 1,050 millones de pesos, habría sido posible evitar daños valorizados en unos 5,619 millones de pesos, aunque la Sección de Inspecciones de puentes no hubiera identificado una falla de ninguna otra estructura. Queda claro que la inversión de un monto relativamente reducido en la inspección y reparación del puente podría generar retornos altamente positivos.

4. Un resumen metodológico de la estimación de los costos socioeconómicos

a) Estimación de los costos relacionados con la operación de trenes especiales durante el período de emergencia

Según se ha dicho, entre el 8 y el 12 de julio de 1993 Ferrocarriles del Estado (EFE) operó un servicio de emergencia por cuenta propia, entre Temuco Freire, Pitrufquén y Gorbea, consistente en una locomotora diesel de tipo D-5100 o D-6100 y uno o dos coches de clase económica. La Gerencia Regional de Pasajeros en Temuco registró la venta de pasajes en las cuatro estaciones señaladas; en Temuco se vendieron 9,204 boletos, valorizados en 2,452,739 pesos; en Freire, las cifras correspondientes fueron de 7,177 y 1,746,090, respectivamente; en Pitrufquén, 2,591 y 985,820; y en Gorbea, 5,168 y 1,820,460. Las boleterías de Freire, Pitrufquén y Gorbea fueron rehabilitadas y dotadas con personal especial para esa venta excepcional, puesto que ninguna de las estaciones se encontraba en uso para trenes de pasajeros en el momento en que ocurrió el desastre. Hubo, además, una venta a bordo de los trenes, aunque se considera que tuvo relativamente poca significación, por los castigos que se aplicaron a ella, los que incentivaron a los pasajeros a adquirir sus pasajes en las boleterías.

Dichas cifras son altas, en comparación con el volumen de pasajeros que se estima viajaron en los autobuses que operaron sobre el mismo recorrido en condiciones normales. Por lo tanto, para determinar el costo neto relacionado con la transferencia de pasajeros a los trenes desde sus autobuses habituales, se restó del costo del transporte ferroviario, es decir, 8,145,000 pesos (línea 1 en el cuadro 1) el costo de transportar en autobuses el mismo número de personas, que corresponde a 7,242,000 pesos (línea 8), suponiendo, en ambos casos, que la tarifa cobrada por pas-km reflejara los costos correspondientes.

Además, tomando en cuenta estimaciones razonables de los tiempos de espera, de caminata y del propio viaje en el tren o autobús, se cuantificó el costo del mayor consumo de tiempo personal, por el uso del medio ferroviario en lugar del habitual autobusero. El tiempo fue valorizado en unos

336 pesos la hora, correspondiente al valor social ocupado en evaluaciones de transporte urbano. El mayor costo (2,411,000 pesos) está incluido en el valor de la línea 10 del cuadro 1.

b) Estimación de los costos relacionados con la operación de trenes especiales durante la postemergencia

Durante el período del 13 al 23 de julio de 1993, por convenio con la Intendencia de la IX Región, EFE operó un servicio gratuito (para los usuarios) sobre la ruta Temuco-Gorbea, consistente en tres coches de clase económica, arrastrados por una locomotora de tipo D-5100 o D-6100. Se estimaron los costos de operación de trenes de pasajeros, por procesar antecedentes contenidos en distintos informes elaborados por o para EFE.³⁴

A partir de estos valores, se estimó el costo total (sin contar el aseo) de un viaje de ida y vuelta entre Temuco y Gorbea en 69,804 pesos. Por lo tanto, el costo total de los servicios operados entre el 12 y el 23 de julio de 1993 (durante el cual se ofrecieron 11 frecuencias diarias) se calculó en 8,024,000 pesos, y entre el 24 y el 30 de julio de 1993 (ocho diarios) en 4,151,000, en tanto que el costo total se estimó en 12 millones de pesos (línea 2 del cuadro 1).

El costo ahorrado por la suspensión de los servicios autobuseros entre Temuco y Gorbea, durante el mismo lapso, se estimó en 8.5 millones de pesos (línea 9), suponiendo que un tren reemplaza a cuatro autobuses y un costo de operación por autobús-km de 0.333 pesos. El mayor costo de tiempo personal de viaje se estimó tomando en cuenta el mismo valor por hora (336 pesos) y la misma demora relativa del viaje en tren en comparación con el del autobús (17 minutos), que se había contabilizado referente a período de emergencia. Ese mayor costo (6.2 millones de pesos) se incluye en el valor señalado en la línea 10 del cuadro 1.

A partir del 12 de julio de 1993, algunos viajeros habrían llegado en autobuses a una orilla del río cruzándolo por la pasarela y subiendo a vehículos que esperaban en el otro lado, incurriendo también en un mayor consumo de tiempo en comparación con el viaje normal. Sin embargo, por el desconocimiento casi total que existe sobre el número de viajes de esta naturaleza, no fue posible intentar analizarlos seriamente.

c) Estimación de los costos adicionales del tránsito de largo recorrido desviado por Villarrica y de la pérdida de excedente de la supresión de viajes

Hasta la puesta en operación del puente *Bailey*, el tráfico de largo recorrido fue desviado por Villarrica, con los consiguientes mayores costos de operación vehicular y el consumo de tiempo personal. El principio básico adoptado para determinar ese costo partió de la estimación de los volúmenes normales de tránsito, por tipo de vehículos, y los costos de operación de recorridos de largos típicos, tanto por la Ruta 5 por el desvío por Villarrica.

³⁴ i) Consultores en Ingeniería de Transporte Ltda. -CITRA- (1994), *Estudio estratégico de transporte de pasajeros*, varios tomos, para EFE; ii) EFE (1992), *Anuario Estadístico, 1991*, y iii) el Memorándum de EFE, referenciado DGN 1 7592 del 30 de diciembre de 1991.

Cuadro 1

RESUMEN DE LOS DAÑOS ECONOMICOS CAUSADOS POR EL COLAPSO DEL PUENTE TOLTEN

Específico	Valor en miles de pesos chilenos en diciembre de 1994
Costos relacionados con la operación del sistema de transporte (indirectos)	
Total	5,619,235
1. Operación de trenes especiales durante el período de emergencia a/	+8,145
2. Operación de trenes especiales durante el período postemergencia b/	+12,174
3. Mayores costos de operación de los vehículos en viajes de largo recorrido que se desviaron por Villarrica	+1,655,334
4. Pérdida de excedente por supresión de viajes de largo recorrido	+119,000
5. Mayores costos de operación del tráfico local, con origen o destino	+222,022
6. Pérdida de excedente por supresión de viajes locales	Inc. en línea 5
7. Mayores costos de operación de vehículos sobre los caminos Freire-Villarica y Villarica-Loncoche, hasta la reparación de éstos	+1,374,785
8. Menores costos de operación de autobuses por transferencia de tráfico a los trenes durante período de emergencia	-7,242
9. Menores costos de operación de autobuses por transferencia de tráfico a los trenes durante el período de postemergencia	-8,477
10. Mayor consumo de tiempo personal de pasajeros que cambiaron de autobús a tren, durante el período de emergencia y el de postemergencia	+8,566
Costos de inversión (directos)	
11. Menor desgaste a la Ruta 5 por desvío de tránsito por Villarrica	-104,002
12. Costos relacionados con la instalación del puente peatonal	+41,860
13. Reparación del puente de carretera sobre el río Toltén, incluidos los costos relacionados con el puente <i>Bailey</i>	+844,040
14. Adelanto de la reconstrucción de los caminos Freire-Villarrica y Villarrica-Loncoche	+1,133,050
15. Repavimentación emergente de los mismos caminos	+320,000

a/ Entre 08/07/93 y 12/07/93, es decir, entre el momento del desastre y la colocación del puente peatonal.

b/ Desde el momento de colocar el puente peatonal hasta el 30/07/93.

Suponiendo distintas elasticidades de demanda, por cada tipo de vehículos, se calculó la incidencia de la supresión de viajes (por mayores costos). Al tráfico que continuó realizándose, a pesar de los mayores costos, se le atribuyó el mayor costo del recorrido por Villarrica, sobre el efectuado por la Ruta 5, y al tráfico que se dejó de correr, por los mayores costos, se le contabilizó una pérdida de excedente igual a la mitad de dicho mayor costo.

El flujo diario de tránsito de largo recorrido, en condiciones normales, se estimó aplicando distintos porcentajes a los volúmenes observados en los conteos efectuados por el MOP, en la Ruta 5 entre Pitrufquén y Gorbea, los días 8 de julio y 21 de octubre de 1992. Para algunos tipos de vehículos, se estimó el volumen normal considerando el promedio del flujo contado en esos dos días, y para otros, cuyo flujo el 8 de julio fuera excepcionalmente alto, por alguna razón no identificada, se estimó considerando únicamente el volumen observado el 21 de octubre. Se supuso que el largo de los recorridos de los automóviles, las camionetas y todos los tipos de camiones fue de unos 200 km y que el de los autobuses sumó unos 400 km. Las elasticidades de demanda, que relacionan el volumen de tránsito por tipo de vehículos con el costo del recorrido, se estimaron en -1.00 (automóviles y autobuses), -0.50 (camionetas), y -0.25 (todos los tipos de camiones). Por razones de conveniencia, se basaron los cálculos de pérdida de excedente únicamente en los costos económicos, sin referencia a

los percibidos o generalizados; sin embargo, se efectuó una corrección, reconociendo que los combustibles llevan una carga impositiva superior a la de los demás bienes y servicios consumidos.

Durante el período en que el tráfico por el puente se mantuvo suspendido, la suma de los mayores costos de operación del tránsito de largo recorrido y de la pérdida de excedente relacionada con la misma se calculó en unos 1,774,334 millones de pesos. (Véanse las líneas 3 y 4 del cuadro 1.)

d) Estimación de los costos adicionales del tránsito local desviado por Villarrica y de la pérdida de excedente de la supresión de viajes

En el caso del tráfico local, la diferencia de costos de operación vehicular, incluido el valor del tiempo personal, entre la ruta normal y la alternativa por Villarrica, fue muy grande, según se presenta en el cuadro 2. (La distancia normal es de 17 km, y la de la ruta alternativa de 137 km.)

Por lo tanto, a raíz de la supuesta curvilinealidad de las funciones de demanda, que relaciona los volúmenes de tránsito de cada tipo de vehículo con dichos costos, la estimación de la pérdida de excedente como la mitad de la diferencia de costos, entre la ruta normal y la alternativa, daría como consecuencia una sobreestimación muy significativa de esa pérdida. (Véase el gráfico 1.)

Por eso, la pérdida, por tipo de vehículos, se estimó mediante la siguiente integral: ³⁵

$$\int_{c_0}^{c_i} q_i \cdot dc$$

donde:

c_{11}	=	costo por Villarrica, vehículos de tipo i
c_{10}	=	costo por la Ruta 5 (puente Toltén), vehículos de tipo i
q_i	=	volumen de tránsito de vehículo de tipo i.

Para estimar los volúmenes del tráfico local, se calculó, primeramente, por cada tipo de vehículos, la diferencia entre el flujo total, estimado a partir de los conteos del MOP, y el que ya se había considerado como tráfico de largo recorrido. Los conteos se realizaron en un punto entre Pitrufrquén y Gorbea y, por eso, incluirían vehículos que efectuaron desplazamientos de corta distancia, sin necesidad de pasar por el puente. Por lo tanto, salvo en el caso de los autobuses, se supuso que un 50% de ese tráfico fuera local, que normalmente pasa por el puente colapsado. Se consideró, además, que este tráfico circula entre Freire (punto de origen o destino) y Gorbea (destino u origen). Los costos presentados en el cuadro 2 se refieren a los viajes entre estos dos poblados. En

³⁵ Según se puede apreciar en el gráfico 1, la diferencia entre los dos métodos es muy importante. En el caso de los autobuses, por ejemplo, la pérdida diaria, estimada mediante el método integral, es de 3,123 dólares. Si hubiera sido calculada a través del método adoptado en el caso del tránsito de largo recorrido, habría sido sobreestimada de manera muy significativa, en 6,414 dólares, es decir, en más de 100% superior al valor real.

el caso de los autobuses, se consideró que un 90% del tránsito de recorrido corto pasa normalmente por el puente.

Cuadro 2

VOLUMENES DE TRANSITO LOCAL Y COSTOS DE OPERACION POR
LAS RUTAS NORMAL Y ALTERNATIVA

Tipo de vehículo	Volumen por día a/	Costo por Ruta 5 b/	Costo por Villarrica c/
Automóvil	134	3.21	27.17
Camioneta	88	3.23	27.99
Camión 2 ejes	51	5.05	44.65
Camión > 2 ejes	5	8.82	78.76
Camión remolque	35	9.71	86.65
Autobús	128	10.98	101.38

a/ Volumen de tránsito local que pasa por el puente, en condiciones normales; de acuerdo con el procedimiento explicado en los incisos c) y d) de esta sección 4.

$$q_i = 430c_i^{-1.00} \text{ (i = auto);}$$

$$q_i = 158c_i^{-0.50} \text{ (i = camioneta)}$$

$$q_i = 76.5c_i^{-0.25} \text{ (i = camión de 2 ejes);}$$

$$q_i = 8.44c_i^{-0.25} \text{ (i = camión de más de 2 ejes)}$$

$$q_i = 61.8c_i^{-0.25} \text{ (i = camión con remolque), y}$$

$$q_i = 1405c_i^{-1.00} \text{ (i = autobús).}$$

b/ Corresponde a c_{10} en la formulación integral anterior.

c/ Corresponde a c_{11} en la formulación integral anterior.

Se supuso que las elasticidades de demanda vigentes fueran iguales a las ya empleadas en el caso del tránsito de recorrido largo.

Los mayores costos y las pérdidas de excedente fueron calculados por tipo de vehículos y por día.³⁶ Para convertir los costos y pérdidas diarios a los incurridos durante el período entre la orden de prohibición de transitar sobre el puente hasta la colocación de la estructura *Bailey*, se consideró el período entre el 8 de julio y el 16 de septiembre, excepto en el caso de los autobuses. En este último caso, se tomó en cuenta el intervalo entre el 31 de julio de 1993 y el 16 de septiembre de 1993, puesto que los costos correspondientes a los días en que corrió el servicio especial de trenes ya han sido estimados, según se explicó oportunamente. El valor total de los mayores costos y pérdida de excedente se estimó en 222 millones de pesos (línea 5 del cuadro 1).

³⁶ Otra vez, por razones de conveniencia, las pérdidas de excedente se estimaron considerando los costos económicos, con ajuste por la mayor carga impositiva sobre los combustibles.

e) **Los mayores costos de operación de vehículos sobre las Rutas 91 y 119 hasta la reparación del pavimento de estos caminos**

El desvío de tránsito pesado por Villarrica, a raíz de la intransitabilidad del puente Toltén, provocó un deterioro acelerado en la condición del pavimento de los caminos Freire-Villarrica y Villarrica-Loncoche, lo que elevó los costos de operación del tráfico normal sobre ellos, hasta su reparación en el verano de 1995. Se estimó el valor de este aumento de la manera explicada a continuación.

Se supuso que:

i) La condición de los caminos 91 y 119 habría permanecido sin cambios significativos, si no hubiera ocurrido el desastre;³⁷

ii) La condición de la Ruta 91, durante el período del 16 de septiembre de 1993 al 15 de febrero de 1995, sería inferior al estado *malo* y, por lo tanto, los costos de operación correspondientemente superiores;³⁸

iii) La condición de la Ruta 119, durante el período del 16 de septiembre de 1993 al 15 de febrero de 1995, correspondería al estado *malo* del citado documento del MOP (véase la referencia 2.).

Se estimó que, en promedio, los caminos permanecieron en la condición dañada durante un período de 517 días. Los volúmenes diarios de tránsito se estimaron por cada tipo de vehículos, y se calculó un promedio diario de los flujos contados, en los puntos más indicados por los censos del MOP en 1992, asignando una ponderación de 200% a los conteos del día 19 de febrero, 100% a los del 8 de julio y 200% a los del 21 de octubre. Los conteos fueron efectuados en Allipén, en el caso de la Ruta 119, y en la Esquina Mocha, en el caso de la Ruta 91. (En el caso de los camiones, de todos los tipos, sobre la Ruta 119, los flujos para el 21 de octubre fueron reemplazados por los del 8 de julio, por ser excepcionalmente altos los primeros.)

A base de las diferencias de costos de operación y de los flujos de tránsito, más el supuesto de que el aumento en los costos no redujera los flujos, se estimaron los mayores costos de operación durante los 517 días en unos 1,374.8 millones de pesos (línea 7 del cuadro 1). Cabe comentar que este valor está sujeto a un margen de error relativamente grande, por la dificultad en saber exactamente cuáles fueron los costos de tránsito por los caminos 91 y 119, en su condición deteriorada.

³⁷ A fin de estimar los costos de operación vehicular y las velocidades correspondientes, se consideró que antes de la emergencia: i) el estado de la Ruta 5 era plano y bueno; ii) el de la Ruta 119 era bueno, 50% plano y 50% ondulado, y iii) el de la Ruta 91 era regular, 50% plano y 50% ondulado.

³⁸ Las definiciones y los costos corresponden a los presentados en el documento del MOP A, *Resumen de Costos de Operación de Vehículos, Caminos Pavimentados* (sin fecha).

f) Los costos relacionados con el reestablecimiento del tránsito sobre el puente

El MOP informó que los costos por transportar, armar y luego retirar el puente peatonal se estimaron en unos 41.9 millones de pesos (línea 12 del cuadro 1). La misma fuente estimó los costos de la reparación del puente permanente, además los de transportar, armar y retirar la estructura *Bailey*, en unos 844 millones de pesos (línea 13 del cuadro 1).

g) Los costos del menor desgaste de la Ruta 5

El desvío de tráfico por Villarrica habría reducido el desgaste de la Ruta 5, entre Freire y Loncoche. El MOP consideró insignificantes los beneficios correspondientes, pero por ser factible su estimación, se intentó cuantificarlos, usando la metodología que a continuación se resume.

El costo unitario del daño causado por el tráfico pesado fue valorizado en 0.02 dólar por eje-equivalente por km, a base de un estudio llevado a cabo anteriormente por la CEPAL.³⁹ Se supuso que un camión de 2 ejes tiene una equivalencia en ejes (reconociendo que no siempre circula cargado) de 1.5; para un camión de más de 2 ejes en 2.25; para un camión con remolque en 3.5; y para un autobús en 0.75. De esa manera, se calculó el valor del menor desgaste en 104 millones de pesos (línea 11 del cuadro 1).

h) Los costos relacionados con la reparación de caminos

El MOP estimó en unos 3,000 millones de pesos el costo de la reconstrucción de los caminos 119 y 91, sobre los ejes Freire-Villarrica-Loncoche, suma a la que se debe agregar 110 millones de pesos, que es el costo del estudio de ingeniería para determinar el tipo de construcción más indicado y desarrollar el proyecto correspondiente. El costo de reconstrucción comprende una mejora del pavimento entre Freire y Villarrica, mediante una mezcla de asfalto y hormigón, más bien que de doble tratamiento. Se estimó el costo atribuible a la avería del puente Toltén por la simple diferencia entre el valor presente de la obra completa en 1995, y la misma si hubiera sido hecha en el año 2000. Si el camino Freire-Villarrica hubiese sido reconstruido en el año 2000, tal como ha sido programado, es altamente probable que habría sido tratado con la mezcla de asfalto y hormigón, tal como en realidad se hizo. El costo por adelantar las obras en cinco años, a una tasa de descuento de 12% anual, es de 1,133 millones de pesos. (Véase la línea 14 del cuadro 1.)

A raíz de que el desvío del tráfico por Villarrica causó un deterioro prematuro en los caminos 199 y 91, el MOP consideró necesaria una repavimentación parcial de emergencia, la que costó unos 320 millones de pesos. (Véase la línea 15 del cuadro 1.)

³⁹ CEPAL (1987), *Estimación de los costos variables del uso de la infraestructura vial* (R.566/Add/1). Se actualizó el costo indicado en el gráfico 1 (línea correspondiente a la carretera longitudinal principal).

Gráfico 1

UNA COMPARACION DE LA PERDIDA DE EXCEDENTE AL TRAFICO LOCAL
DE AUTOBUSES, CALCULADA SEGUN DOS METODOS ALTERNATIVOS

